

**PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ARTIFICIAL AGING*  
100°C 150°C 250°C TERHADAP KEKERASAN dan STRUKTUR  
MIKRO PADA ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu)**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata 1  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**WILLY AKHSANI TAQWIM**

**D200150121**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ARTIFICIAL AGING*  
100°C 150°C 250°C TERHADAP KEKERASAN dan STRUKTUR  
MIKRO PADA ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu)**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh :

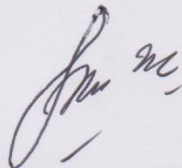
**Willy Akhsani Taqwim**

**D200150121**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



**Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ARTIFICIAL AGING*  
100°C 150°C 250°C TERHADAP KEKERASAN dan STRUKTUR  
MIKRO PADA ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu)**

Oleh :

**Willy Akhsani Taqwim**

**D200150121**

Telah dipertahankan didepan Dosen Penguji  
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Rabu, 22 November 2019  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. **Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T**  
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Joko Sedyono, S.T., M.Eng., Ph.D**  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. **Muh. Al Fatih Hendrawan, M.T.**  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D**  
NIK. 682



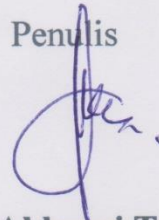
## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 22 November 2019

Penulis



**Willy Akhsani Taqwim.**

**D200150107**

# **PENGARUH VARIASI SUHU PROSES *ARTIFICIAL AGING* 100°C 150°C DAN 250°C TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA ALUMINIUM PADUAN Al-Cu**

## **Abstrak**

Material berjenis Aluminium memiliki sifat mekanis yang baik, sifat tersebut meliputi ketahanan terhadap korosi, ringan, dan kekuatan yang tinggi. Namun sifat-sifat tersebut masih dapat diperbaiki dengan beberapa metode, salah satu metode yang digunakan adalah *aging* atau yang biasa disebut *age hardening*. *Age hardening* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium paduan yang berupa kekerasan atau kekuatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat mekanis dan sifat fisis pada material Al-Cu sebelum dan sesudah dilakukan proses *age hardening* pada variasi suhu 100°C, 150°C, dan 250°C yang ditahan 1 jam, dengan pengujian kekerasan metode *rockwell* dan pengamatan struktur mikro. Pada hasil struktur mikro, menunjukkan bahwa semakin besar suhu akan semakin renggang butiran atomnya. Hal tersebut selaras dengan hasil pengujian kekerasan yang menurun pada setiap kenaikan suhu, dengan hasil kekerasan rata-rata pada suhu 100°C, 150°C, 250°C, masing-masing sebesar 75,63 HRB, 68,87 HRB, 58,17 HRB. Namun pada pengujian kekerasan antara *raw material*, material setelah *quenching*, dan material setelah *aging*, nilai kekerasan mengalami penurunan sebesar 35% dari rata-rata kekerasan *raw material* sebesar 77,27 HRB ke 50,17 HRB pada saat material didinginkan secara cepat, namun material mengalami kenaikan kekerasan kembali sebesar 35% dari 50,17 HRB ke 67,56 HRB setelah material melalui proses *aging*.

**Kata kunci :** *age hardening*, *aging*, *quenching*, struktur mikro Al-Cu

## **Abstract**

Aluminum type material has good mechanical properties, these characteristics include resistance to corrosion, light weight, and high strength. However, these properties can still be improved by several methods, one of the methods used is *aging* or commonly called age hardening. *Age hardening* is one method that can be used to improve the mechanical properties of aluminum alloy in the form of hardness or strength. This study aims to determine changes in mechanical and physical properties of Al-Cu material before and after the *age hardening* process at 100°C, 150°C, and 250°C temperature variations that are held for 1 hour, by testing the hardness with *rockwell* method and observing *microstructure*. The results of the *microstructure*, show that the greater temperature will be more distantly atomic grains. This is suitable with the results of the hardness testing which decreases with each increase in temperature, with the results of the average hardness at 100 ° C, 150 ° C, 250 ° C, respectively 75.63 HRB, 68.87 HRB, 58.17 HRB. But in the testing of hardness between raw material, after *quench* material, and after *aging* material, the value of hardness decreased by 35% from the average hardness of raw material of 77.27 HRB to 50.17 HRB when the material was rapidly cooled,

however the material have an increase the hardness by 35% from 50.17 HRB to 67.56 HRB after the material went through an *aging* process.

**Keywords:** *age hardening, aging, quenching, Al-Cu microstructure*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era teknologi yang berkembang semakin pesat, manusia dituntut untuk terus berusaha untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, hal tersebut diikuti dengan pesatnya pertumbuhan perindustrian di bidang otomotif, konstruksi, dan berbagai industri lainnya yang membutuhkan material logam sebagai bahan dasar barang yang diproduksi oleh industri tersebut. Aluminium merupakan salah satu material logam *non ferrous* yang biasa digunakan pada industri *manufacturing* sebagai bahan dasar pembuatan komponen – komponen dari barang yang di produksi, sebagai contoh adalah komponen pada pesawat terbang yang memanfaatkan sifat ringan dan kuat dari aluminium, kedua sifat tersebut merupakan syarat utama suatu material dapat dijadikan bahan dasar struktur pada pesawat terbang.

Pada industri *manufacturing* jenis aluminium yang sering digunakan adalah aluminium paduan (*aluminum alloy*). Terdapat beragam jenis aluminun paduan, namun aluminium paduan Al-Cu merupakan material yang banyak digunakan pada industri *manufacturing* dikarenakan sifatnya yang kuat.

Paduan aluminium tersebut membutuhkan beberapa proses untuk meningkatkan kekuatan material sebelum dipergunakan sebagai bahan dasar produk pada industri *manufacturing*. Salah satu cara yang digunakan untuk dapat meningkatkan kekuatan dari material paduan logam, yaitu dengan melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Pengaplikasian proses *aging* dapat ditemui pada proses pemasangan keling pada pesawat terbang, dimana dilakukan pelunakan terhadap keling terlebih dahulu untuk mempermudah pemasangan pada *body* pesawat, lalu dilakukan proses *aging* dengan suhu rendah atau dengan

*natural aging*, yang dapat mengakibatkan proses presipitasi pada material dapat berjalan dengan optimal sehingga didapatkan kekerasan yang baik.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu pada proses *Artificial Aging* terhadap struktur mikro pada material ?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu pada proses *Artificial Aging* terhadap kekerasan pada material ?
3. Bagaimana Pengaruh *quenching* terhadap kekerasan material ?
4. Bagaimana Perubahan nilai kekerasan material dari *Raw material*, *after quench material*, dan *aged material* ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Dalam pembahasan yang disajikan, peneliti perlu membatasi permasalahan agar pembahasan lebih terfokus mengingat kompleksnya permasalahan yang terjadi di dalam proses penelitian. Adapun batasan masalah tersebut meliputi :

1. Material yang digunakan berupa aluminium paduan jenis Al-Cu.
2. Mesin pemanas yang digunakan berupa furnace tipe WiseTherm F-14.
3. Suhu ruangan, suhu *Solution* dianggap konstan.
4. Suhu dan kecepatan *quenching* dianggap seragam.
5. Media yang digunakan pada saat *quenching* berupa Air.
6. Pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Rockwell*.
7. Pengujian komposisi kimia *raw material* menggunakan uji Emisi Spectrometer.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu pada proses *Artificial Aging* terhadap struktur mikro pada material.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu pada proses *Artificial Aging* terhadap kekerasan material.
3. Mengetahui Perubahan nilai kekerasan material dari *Raw material*, *after quench material*, dan *aged material* .
4. Mengetahui Komposisi kimia aluminium paduan (Al-Cu).

#### 1.5 Manfaat Penelitian

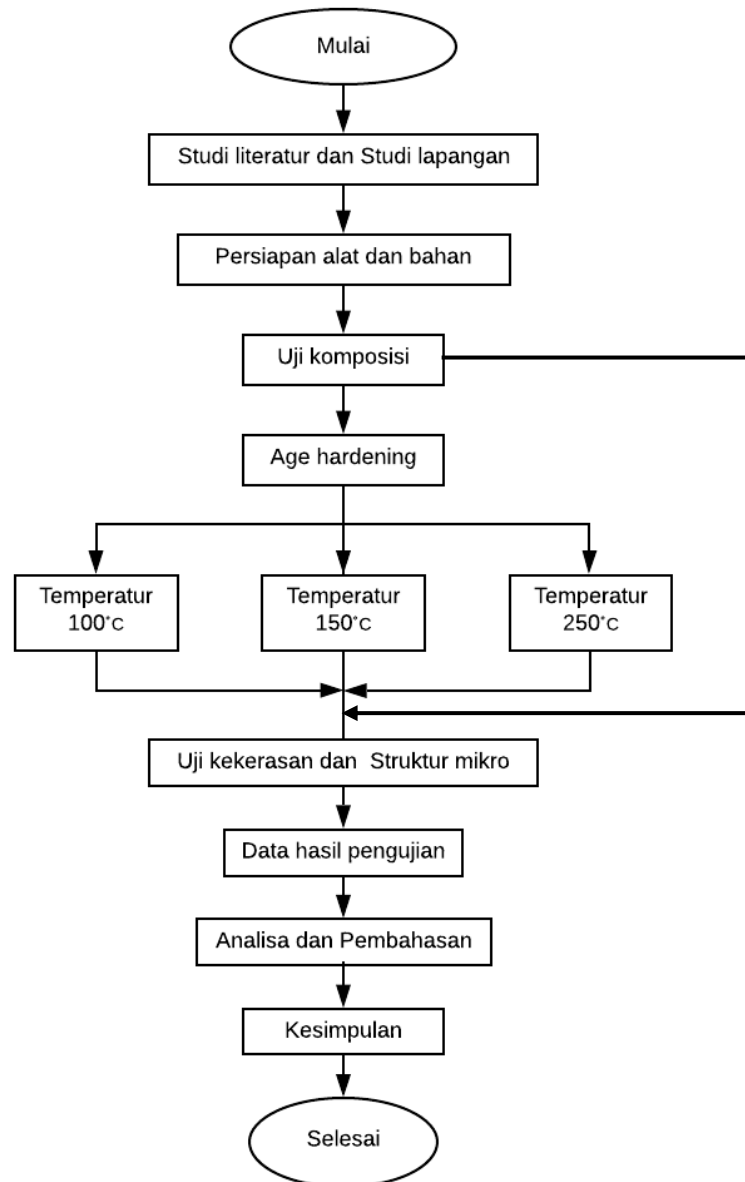
Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif kepada :

1. Bidang Akademik
  - a) Menambah pengetahuan tentang pengaruh variasi suhu pada proses *Artificial Aging* terhadap sifat mekanis material berupa kekerasan.
  - b) Menambah pengetahuan tentang perlakuan *Age Hardening* terhadap material Aluminium paduan Al-Cu.
  - c) Menambah pengetahuan tentang pengujian kekerasan material tipe *Rockwell*.
2. Bidang Industri
  - a) Untuk mengetahui perubahan kekerasan material aluminium setelah dilakukan *age hardening*.
  - b) Untuk menambah pengetahuan tentang *heat treatment* tipe *age hardening* pada material Aluminium.



## 2. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1** Diagram alir penelitian

## **2.2 Alat dan Bahan**

### **2.2.1 Alat**

1. Mesin Amplas
2. Alat uji *Spectrometer*
3. Oven (*Furnace*)
4. Amplas
5. Gergaji
6. Kain
7. Penjepit spesimen
8. Alat uji kekerasan *Rockwell*
9. Alat uji Struktur Mikro.
10. *Infrared thermometer*

### **2.2.2 Bahan**

1. Aluminium
2. Autosol
3. Resin katalis
4. Larutan etsa (NaOH)

## **2.3 Studi Pustaka dan Lapangan**

Studi Pustaka dan Lapangan merupakan langkah-langkah proses penelitian. Tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pencarian data yang berhubungan dengan penelitian dari buku atau laporan yang sesuai.
2. Mencari material Al-Cu.
3. Melakukan uji komposisi kimia untuk dapat mengetahui kandungan dari material yang di dapat apakah sesuai atau tidak. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

4. Proses *Age hardening*, dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
6. Proses pengamplasan dan etsa material yang akan digunakan untuk uji struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
7. Uji struktur mikro dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

### 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian

Pengujian Komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur-unsur yang terkandung dalam material. pengujian ini menggunakan alat uji *spectrometer*.

Tabel hasil uji komposisi :

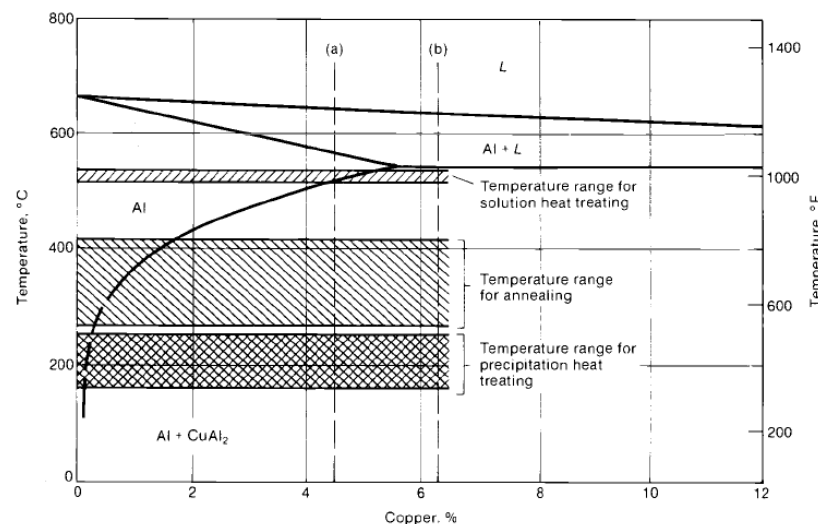
**Tabel 1** Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur	%
Al	91,99
Cu	5,4136
Mg	1,5742
Mn	0,5452
Zn	0,1636
Fe	0,1596
Si	0,1028
Ti	0,0182
Cr	0,0069
Ni	0,0069

Sn	0,0047
Pb	0,0024
Sb	0,0007
Ca	0,0000
P	0,0000

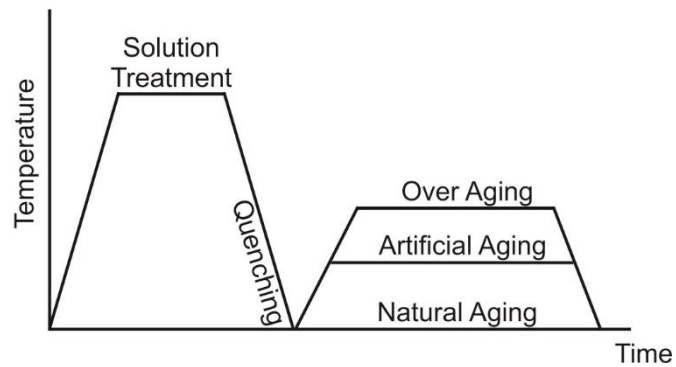
### 3.1.1 Pembahasan Komposisi kimia

Berdasarkan hasil pengujian pada aluminium paduan tipe 2xxx, di dapat unsur paduan Al-Cu dengan kandungan aluminium sebesar 91,88% dan Cu sebesar 5,4136%.



**Gambar 2** Diagram Fasa Al-Cu

Pada diagram fasa Al-Cu diketahui untuk Batasan material aluminium yang bisa diberi perlakuan panas harus memiliki kandungan Cu maksimal sejumlah 5,65 %, sehingga material yang digunakan dalam pengujian ini dapat dikategorikan sebagai material yang bisa diberi perlakuan panas (*heatreatable*) karena memiliki kandungan Cu sebesar 5,4136 %. Diagram proses *Heat treatment* pada material Al-Cu dimulai dari *solution treatmen*, *quenching*, hingga *aging*, terdapat pada gambar 3.



**Gambar 3** Diagram proses *age hardening*

### 3.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan bertujuan untuk membandingkan nilai kekerasan dari material Al-Cu pada setiap proses mulai dari *raw material*, material setelah *quenching*, dan setelah *artificial aging* 100°C, 150°C, dan 250°C. pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan *Rockwell* dengan pembebanan mayor sebesar 100 Kgf.

Adapun data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel:

**Tabel 2** Tabel Hasil Uji kekerasan *Rockwell*

PROSES	VARIASI SUHU	MATERIALS	HR RAW	HR AFTER QUENCH	HR AFTER AGING 1 H
ARTIFICIAL AGING	100 °C	1	76,9 HRB	56,3 HRB	75,5 HRB
		2	76,8 HRB	57,2 HRB	75,7 HRB
		3	77,2 HRB	60,8 HRB	75,7 HRB

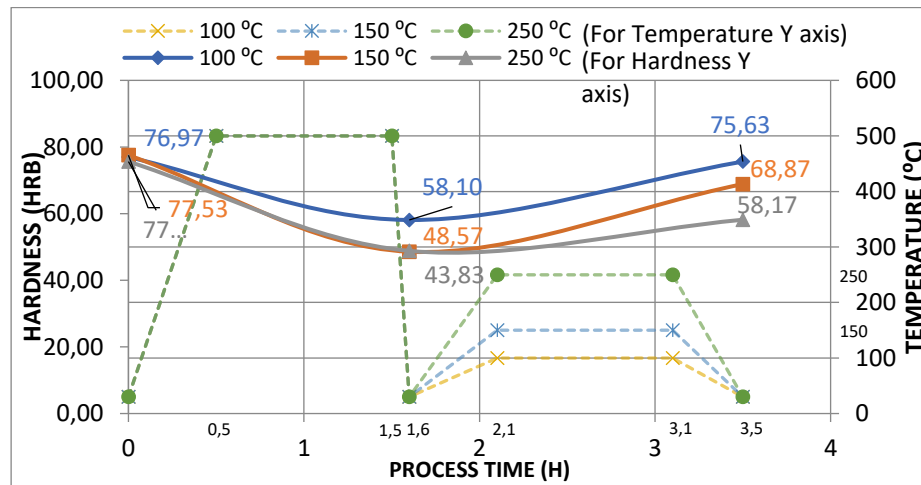
	RATA- RATA AGING 100°C		76,97 HRB	58,10 HRB	75,63 HRB
	150 °C	4	77,2 HRB	48,7 HRB	68,4 HRB
		5	78,2 HRB	50,4 HRB	68,6 HRB
		6	77,2 HRB	46,6 HRB	69,6 HRB
	RATA- RATA AGING 150°C		77,53 HRB	48,57 HRB	68,87 HRB
	250 °C	7	77,8 HRB	40,2 HRB	49,3 HRB
		8	77,4 HRB	45,4 HRB	62,7 HRB
		9	76,7 HRB	45,9 HRB	62,5 HRB
	RATA- RATA AGING 250°C		77,30 HRB	43,83 HRB	58,17 HRB
	RATA- RATA TOTAL		77,27 HRB	50,17 HRB	67,56 HRB

**Tabel 3** Tabel Kekerasan *Vickers*

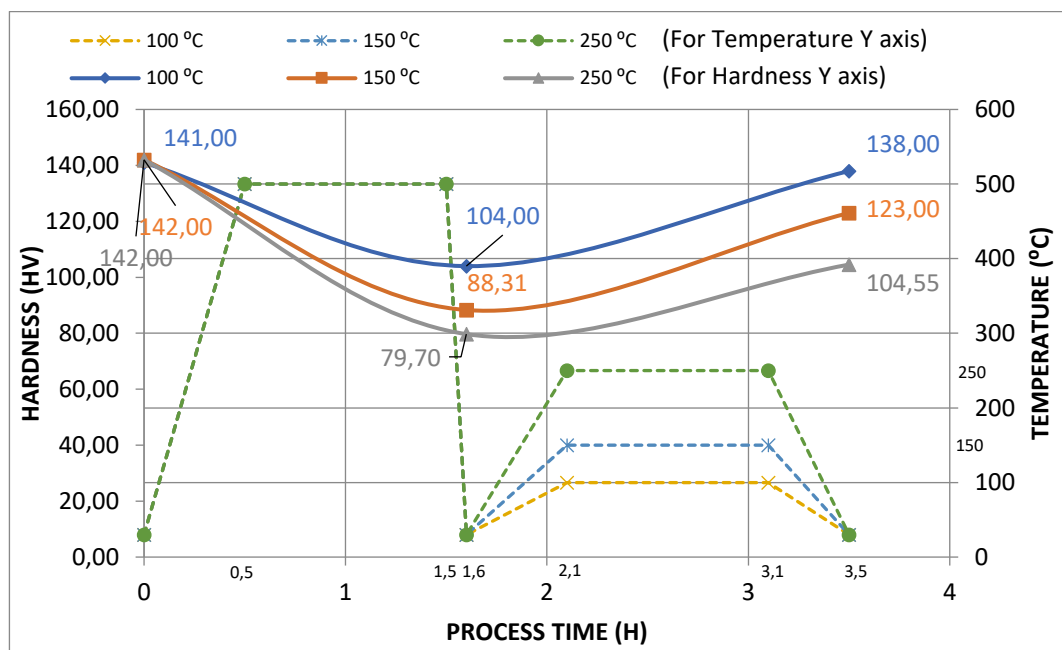
PROSES	VARIASI SUHU	MATERIALS	RAW (HV)	AFTER QUENCH (HV)	AFTER AGING 1 H (HV)
ARTIFICIAL AGING	100 °C	1	141,00 HV	101,00 HV	137,00 HV
		2	141,00 HV	103,00 HV	139,00 HV



		3	141,00 HV	104,00 HV	139,00 HV
	RATA- RATA AGING 100°C		141,00 HV	104,00 HV	138,00 HV
	150 °C	4	141,00 HV	88,55 HV	121,00 HV
		5	144,00 HV	91,64 HV	123,00 HV
		6	141,00 HV	84,73 HV	125,00 HV
	RATA- RATA AGING 150°C		142,00 HV	88,31 HV	123,00 HV
	250 °C	7	144,00 HV	73,09 HV	89,64 HV
		8	141,00 HV	82,55 HV	112,00 HV
		9	141,00 HV	83,45 HV	112,00 HV
	RATA- RATA AGING 250°C		142,00 HV	79,70 HV	104,55 HV
	RATA- RATA TOTAL		141,67 HV	90,67 HV	121,96 HV



**Gambar 4** Diagram proses pengujian kekerasan *Rockwell* dengan skema *Heat treatment*.



**Gambar 5** Diagram hasil konversi *Rockwell to Vickers* dengan skema *Heat treatment*.

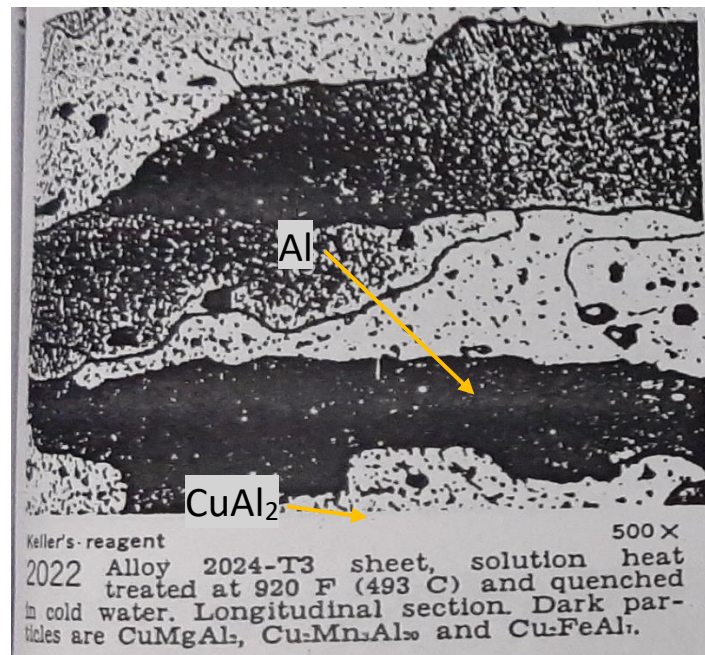
### 3.2.1 Pembahasan hasil pengujian kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekerasan material sebelum melewati proses *solution treatment*, setelah *quenching*, dan setelah *aging*, masing-masing sebesar 77,27 HRB, 50,17 HRB, dan 67,56

HRB. Pada saat material telah di *solution treatment* dan telah melewati proses *quenching* kekerasan material menurun sebesar 35%, dari 77,27HRB ke 50,17 HRB, namun setelah material melewati proses *artificial aging* kekerasan meningkat 35% dari 50,17 HRB ke 67,56 HRB. Pada hasil konversi satuan dari *rockwell* menuju *Vickers*, di dapat hasil rata-rata total nilai kekerasan yang menurun sebesar 36% dari *raw material* sebesar 141,67 HV ke *after quench material* sebesar 90,67 HV, kemudian setelah di *aging*, material kembali mengalami pengerasan sebesar 35% dari *after quench material* sebesar 90,67 HV ke *aged material* sebesar 121,96 HV. Hal tersebut disebabkan karena material yang melalui proses *quenching* struktur butiran atomnya mengalami perenggangan dan tidak sampai terjadi proses presipitasi, sehingga kekerasan material menurun, namun setelah mengalami proses *artificial aging*, butiran pada material mulai merapat menunjukkan bahwa telah terjadi proses pengerasan pada presipitat material yang mengakibatkan peningkatan pada kekerasan material. Fenomena penurunan kekerasan yang terjadi pada penelitian ini seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.2, terjadi akibat suhu yang digunakan terlalu tinggi untuk sebuah material Al-Cu, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang, sehingga menyebabkan partikel yang terbentuk semakin besar yang berakibat pada penurunan kekerasan pada material. Fenomena ini umumnya disebut *over aging*.

### 3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

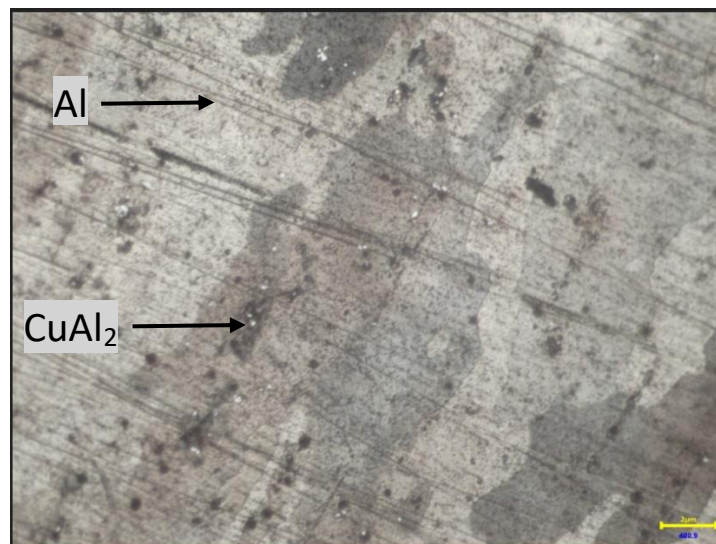
Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati bentuk, ukuran, dan penyebaran butiran pada spesimen sebelum melalui proses *age hardening* dan setelah melalui *age hardening*. Berikut merupakan referensi foto mikro dari buku *Material Handbook 8<sup>th</sup> edition, Vol.7*.



**Gambar 6** Struktur Mikro Paduan Al-Cu

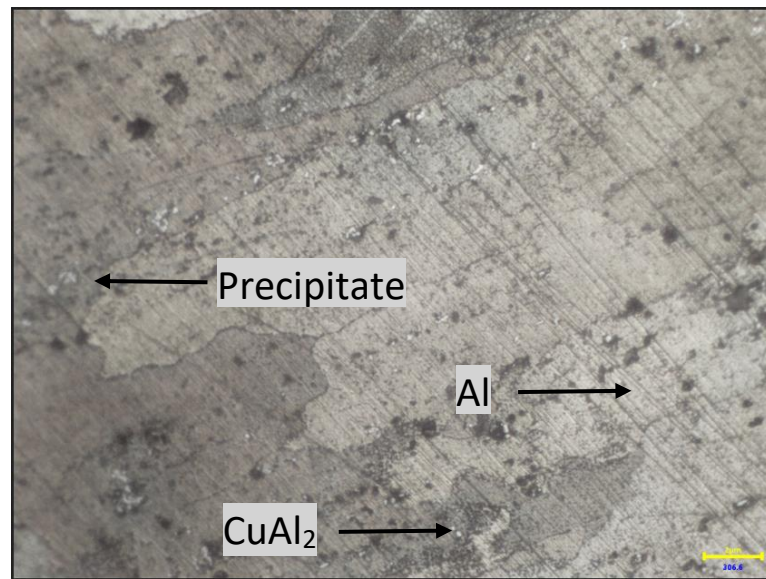
(*Material Handbook 8<sup>th</sup> edition, Vol.7*)

Hasil pengujian struktur mikro *raw material*, material setelah *aging* 100°C, 150°C, dan 250°C dapat dilihat pada gambar berikut :

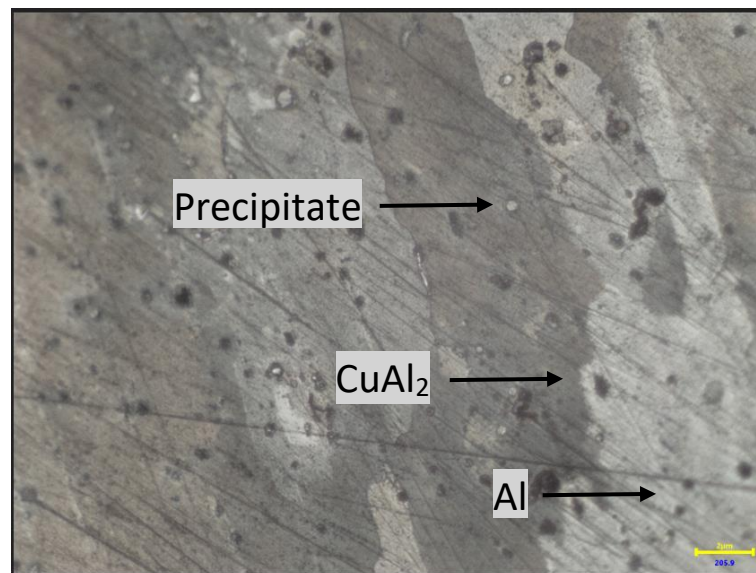


**Gambar 7** Struktur mikro *raw material* perbesaran 100x

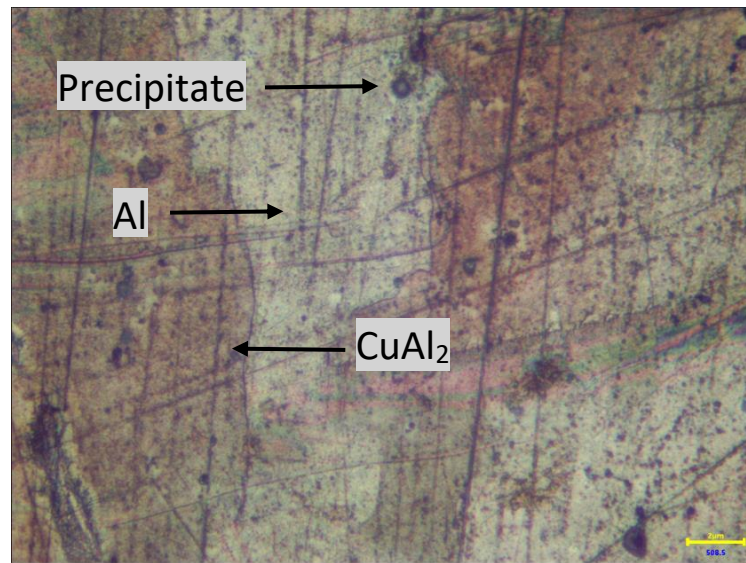
Etsa Larutan NaOH



**Gambar 8** Struktur mikro material setelah *aging* 100°C perbesaran 100x Etsa Larutan NaOH



**Gambar 9** Struktur mikro material setelah *aging* 150°C perbesaran 100x Etsa Larutan NaOH



**Gambar 10** Struktur mikro material setelah *aging* 250°C perbesaran 100x Etsa Larutan NaOH

### 3.3.1 Pembahasan hasil pengujian struktur mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada material Aluminium paduan Al-Cu yang belum melewati proses perlakuan panas seperti pada gambar 4.4 memiliki butiran berukuran kecil dalam jumlah banyak dan memiliki kerapatan yang baik. Pengamatan pada material yang telah melewati proses *aging* selama 1 jam dengan suhu 100°C mulai terlihat presipitat yang menunjukkan material telah mengalami pengerasan kembali setelah proses *quenching*. Pada material yang telah melewati proses pemanasan selama 1 jam dengan suhu 150°C mulai terbentuk presipitat yang lebih besar daripada presipitat untuk material yang telah di *aging* 100°C, hal itu selaras dengan hasil pengujian kekerasan yang lebih kecil nilainya dibandingkan material yang telah di *aging* 100°C. Untuk material yang telah melalui pemanasan pada suhu 250°C selama



1 jam mulai presipitat yang ukurannya lebih besar daripada material yang telah di *aging* 100°C dan material yang di *aging* pada suhu 150°C, hal itu menunjukkan bahwa kekerasan pada material ini merupakan kekerasan yang paling rendah diantara kedua variasi tersebut.

#### **4. PENUTUP**

##### **4.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan hasil pembahasan tentang pengaruh proses *artificial aging* dengan variasi suhu 100°C, 150°C, dan 250°C terhadap material Al-Cu, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan struktur mikro pada material Aluminium paduan Al-Cu yang belum melewati proses perlakuan panas memiliki butiran berukuran kecil dalam jumlah banyak dan memiliki kerapatan yang baik. Pengamatan pada material yang telah melewati proses *aging* selama 1 jam dengan suhu 100°C mulai terlihat presipitat yang menunjukkan material telah mengalami pengerasan kembali setelah proses *quenching*. Pada material yang telah melewati proses pemanasan selama 1 jam dengan suhu 150°C mulai terbentuk presipitat yang lebih besar daripada presipitat untuk material yang telah di *aging* 100°C, hal itu selaras dengan hasil pengujian kekerasan yang lebih kecil nilainya dibandingkan material yang telah di *aging* 100°C. Untuk material yang telah melalui pemanasan pada suhu 250°C selama 1 jam mulai presipitat yang ukurannya lebih besar daripada material yang telah di *aging* 100°C dan material yang di *aging* pada suhu 150°C, hal itu menunjukkan bahwa kekerasan pada material ini merupakan kekerasan yang paling rendah diantara kedua variasi tersebut.
2. Kekerasan pada material Al-Cu menurun seiring bertambahnya suhu (100°C, 150°C, dan 250°C), dengan besar rata-rata tiap suhu secara

berturut-turut adalah 75,63 HRB, 68,87 HRB, dan 58,17 HRB. Hal itu terjadi diakibatkan karena suhu yang digunakan untuk material Al-Cu terlalu besar, sehingga terbentuk endapan fasa  $\theta$  yang stabil, pada tahap ini presipitat dan matriks dalam keadaan seimbang, sehingga menyebabkan partikel yang terbentuk semakin besar yang berakibat pada penurunan kekerasan pada material, atau dapat juga disebut material mengalami *over aged*.

3. Hasil pengujian kekerasan pada Aluminium paduan Al-Cu kondisi setelah melalui proses *quenching* mengalami penurunan sebesar 35% dari *raw material* yang memiliki kekerasan rata-rata sebesar 77,27 HRB menjadi 50,17 HRB. Namun setelah melewati proses *artificial aging*, kekerasan meningkat sebesar 35% dari kondisi *after quench* 50,17 HRB menjadi 67,56 HRB untuk kekerasan setelah di *aging*. Pada hasil konversi satuan dari *rockwell* menuju *Vickers*, di dapat hasil rata-rata total nilai kekerasan yang menurun sebesar 36% dari *raw material* sebesar 141,67 HV ke *after quench material* sebesar 90,67 HV, kemudian setelah di *aging*, material kembali mengalami pengerasan sebesar 35% dari *after quench material* sebesar 90,67 HV ke *aged material* sebesar 121,96 HV.
4. Hasil dari pengujian komposisi kimia dari material Al-Cu, didapat kandungan Al sebesar 91,99% dan kandungan Cu yang terkandung sebesar 5,4136%. Pada diagram fasa Al-Cu diketahui Batasan material aluminium paduan yang bisa diberi perlakuan panas harus memiliki kandungan Cu maksimal sejumlah 5,65%. Sehingga dapat disimpulkan material yang digunakan dalam penelitian ini termasuk kedalam material aluminium paduan yang dapat diberi perlakuan panas.

## 4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis memiliki beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Pada proses *heat treatment* terutama pada saat melakukan *solution treatment* dianjurkan untuk selalu memantau suhu dan *holding time*, karena jika suhu melonjak terlalu tinggi atau waktunya terlalu lama, akan timbul gelembung pada material Al-Cu yang mengakibatkan permukaan Al-Cu teroksidasi, sehingga menghasilkan kekerasan permukaan yang tidak terbaca oleh alat uji kekerasan dikarenakan permukaan terlalu lembut.
2. Dalam melakukan etsa, untuk material Al-Cu cukup menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi yang tidak terlalu pekat, dan waktu penahanan dalam proses pencelupan harus selalu diperhatikan. Karena apabila terlalu pekat larutan, permukaan material akan rusak. Dalam pencelupan bila terlalu cepat diangkat struktur mikro tidak terlihat, dan bila terlalu lama permukaan material akan rusak, maka dari itu diperlukan pengawasan hingga terjadi sedikit perubahan warna pada permukaan material.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, M.Faizin. 2017. *Pengaruh Holding Time Pada Proses Age Hardening Terhadap Kekerasan Komposit Al-Cu yang Diperkuat Serbuk Fly Ash*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Astika, I M. 2019. *Harness Improvements Of Aluminium Alloy 2024 T3 After Artificial Aging Treatment*. Universitas Udayana. Bali.
- ASM Handbook, Vol.2. 1991. *Heat Treating*. ASM International: The Materials Information Company.
- ASTM International, Designation: E18-15. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. ASTM International.
- Budenski, K. Michael. 1999. *Journal of Materials*. The Institute of Materials

- D.A.P Reis dkk. 2012. *Effect of Artificial Aging on the Mechanical Properties of an Aerospace Aluminium Alloy 2024*. Trans Tech Publications, Switzerland.
- Koswara, Asep Lukman. 2007. *Pengerasan Al-2024 Melalui Proses Keras Endap Secara Natural*. Balai Besar Bahan dan Barang Teknik. Bandung.
- Metals Handbook, Vol.7. *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. ASM Handbook Committee.
- Pranata, Muhammad Didi Endah, Alfirano, Jajat Mujiar. 2014. *Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Paduan AL 2014 Hasil Proses Aging Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Radutoiu, dkk. 2012. *Effect of the over-ageing treatment on the mechanical properties of AA2024 aluminum alloy*. Revista de chimie (chemistry-magazine). Prancis.
- Surdia, Tata dkk. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik cet.4*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.

